



Dr. Mohammad Wijaya M, S.Si, M.Si, dilahirkan di Makassar, 27 September 1973, Selatan. Sejak tahun 1992, penulis diterima menjadi Mahasiswa di Jurusan Kimia, FMIPA, UGM Yogyakarta melalui program Penjurangan Bibit Unggul Daerah (PBUD), dan lulus tahun 1997. Pada tahun 2001-2003, penulis mengikuti Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung (ITB) dan dalam Bidang Kimia Fisika. Selanjutnya pada tahun 2005-2011, penulis terdaftar sebagai mahasiswa S3 pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL), Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Pada tahun 1995-1996, penulis menjabat sebagai ketua komisi akademik Senat Mahasiswa Fakultas MIPA UGM. Sejak tahun 1999 sampai saat ini, penulis bekerja sebagai staf pengajar Jurusan Kimia Bidang khusus Kimia Fisik dan Lingkungan pada FMIPA Universitas Negeri Makassar. Pada Tahun 2011, penulis meraih Peneliti Terbaik Pertama Tingkat Universitas, mendapatkan Piada dari Rektor UNM sebagai Dosen Terbaik pada Tahun 2014. Dan sebagai penyaji Poster Terbaik dalam Skim Penelitian Kompetitif Nasional Tingkat Nasional pada Tahun 2014. Tahun 2015 sebagai Dosen Berprestasi Tingkat UNM. Pada Tahun 2017-2021, menjadi Pengurus Himpunan Alumni IPB Bogor untuk Wilayah Sulawesi Penulis mempunyai Hak Paten Granted Tahun 2017. Tentang Pengawet alami dari asap cair bambu.



Prof. Dr. Ir. H. Husain Syam, M.TP, IPU, lahir di Kanang – Polman tanggal 7 Juli 1966. Sekolah Dasar Negeri dan Madrasah Ibtidayah diselesaikan di Kanang (1979), Sekolah Menengah Pertama diselesaikan di Polewali (1982), tamat Sekolah Menengah Atas Negeri Makassar tahun 1985. Sarjana Pendidikan dalam bidang Teknik Mesin Produksi diselesaikan di IKIP Ujung Pandang tahun 1989. Magister Keteknikan Pertanian diraih di UGM tahun 1996. Doktor dalam bidang Teknologi Industri Pertanian diraih di IPB tahun 2005. Gelar Profesor dalam bidang Teknologi Industri Pertanian diraih tahun 2008. Sejak tahun 1991-sekarang menjadi dosen tetap di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNM (Universitas Negeri Makassar). Tahun 2006-sekarang menjadi dosen tetap pada PPs UNM. Beberapa jabatan yang pernah dan sedang diemban adalah Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas UNM Periode 2007-2008, Dekan Fakultas Teknik UNM Periode 2008-2016 (2 priode), Rektor UNM Periode 2016 – Sekarang. Selain jabatan struktural di lingkungan UNM, Husain Syam juga memiliki sejumlah pengalaman kerja di luar UNM, diantaranya: Reviewer Proposal Penelitian Dosen Muda (PDM) dan Kajian Wanita (KW) Proyek Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Dirjen Dikti, Depdiknas (2006-2009). Reviewer Proposal pengabdian pada masyarakat, proyek DP2M Dikti, Depdiknas (2007-2009) Konsultan Perluasan Akses dan Peningkatan Mutu Pendidikan SMP, Dana Dekonsentrasi, Program Diknasmen Depdiknas Provinsi Sulawesi Barat (2007-2010) Ketua Tim Penjamin Mutu Dewan Riset Daerah Propinsi Sulawesi-Barat (2017-2022). Karya ilmiah yang telah dipublikasikan, diantaranya adalah: Optimization Model Supervisor Industry in Workforce Management Based on The Function of Planning. Article in International Journal of Applied Business and Economic Research. (IJABER) Journal, 2014. Influence of attitude and motivation of behavior in the community environmental riparian Maros district of South Sulawesi Province. Man in India, 2015. Interest Analysis of Vocational Education Students in Faculty of Engineering Makassar State University Based On Original School. Technical and Vocational Education and Training International Conference (TVET), 2016. The Contribution of Work Environment and Motoric Cognition on Work Readiness of Vocational High School Student, 2017. Public Entrepreneurship Perspective in Management Of The Limboto Lake in Gorontalo Regency, Indonesia, 2018. Reconstruction of Poverty Reduction Strategy Model Based On Community Empowerment Programs, 2019.

Mohammad Wijaya & Husain Syam

EKSPLORASI LIMBAH BIOMASSA DAN APLIKASINYA

Badan Penerbit UNM



EKSPLORASI LIMBAH BIOMASSA DAN APLIKASINYA

Mohammad Wijaya M
Husain Syam

UPT Badan Penerbit UNM

Alamat: Gedung Perpustakaan Lt.1 Kampus UNM Gunung Sari Baru
Jl. Raya Pendidikan 90222 Telp. (0411) 865677 / Fax. (0411) 861377
Email: badanpenerbit@unm.ac.id | badanpenerbitunm@gmail.com



Badan Penerbit UNM

EKSPLORASI LIMBAH BIOMASSA DAN APLIKASINYA

Mohammad Wijaya M.
Husain Syam



Badan Penerbit UNM

Eksplorasi Limbah Biomassa dan Aplikasinya

Hak Cipta @ 2021 Mohammad Wijaya M. dan Husain Syam
Hak cipta dilindungi undang-undang
Cetakan Pertama, 2021

Diterbitkan oleh Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar
Gedung Perpustakaan Lt. 1 Kampus UNM Gunungsari
Jl. Raya Pendidikan 90222
Tlp./Fax. (0411) 865677 (0411) 861377

ANGGOTA IKAPI No. 011/SSL/2010
ANGGOTA APPTI No. 006.063.1.10.2018

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk apa pun
tanpa izin tertulis dari penerbit

Eksplorasi Limbah Biomassa dan Aplikasinya /
Mohammad Wijaya M. dan Husain Syam cet.1

Makassar: Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar
Makassar 2021
58 hlm; 23 cm

ISBN : 978-623-7496-69-4

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
Pengertian Limbah	1
Pengelompokan Limbah	3
A. Pengelompokan Berdasarkan Jenis Senyawa	3
B. Pengelompokan Berdasarkan Wujud	5
C. Pengelompokan Berdasarkan Sumber	11
D. Berdasarkan Karakteristiknya	15
Pengolahan dan Penanganan Limbah	23
A. Penanganan Limbah Padat	24
B. Penanganan Limbah Cair	29
C. Penanganan Limbah Gas, Debu dan Partikel	32
D. Penanganan Limbah Suara	33
DAFTAR PUSTAKA	55

Prakata

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang cukup melimpah. Hal ini dapat dilihat dengan beragamnya jenis komoditas di sektor lahan di Indonesia, misalnya komoditas pertanian tanaman pangan, hortikultura, perkebunan dan peternakan, serta lahan perikanan yang sudah sejak lama diusahakan sebagai sumber pangan dan pendapatan masyarakat.

Potensi sumber daya alam yang melimpah di Indonesia dengan beragam jenis komoditas menghasilkan begitu banyak jenis limbah, baik dalam komoditas pertanian tanaman pangan, perkebunan, peternakan, maupun perikanan. Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik industri, maupun domestik (rumah tangga), yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Tingkat bahaya keracunan yang disebabkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah, baik dalam jangka pendek, maupun jangka panjang.

Limbah yang mengandung bahan pencemar akan mengubah kualitas lingkungan jika lingkungan tersebut tidak mampu memulihkan kondisinya sesuai dengan daya dukung lingkungan yang ada padanya. Oleh karena itu, sangat perlu diketahui sifat limbah dan komponen bahan pencemar yang terkandung di dalam limbah tersebut. Selain itu, penanganan limbah-limbah tersebut sangat diperlukan tidak hanya sekedar mengolahnya/mendaur-ulangnya dengan program R3 langsung tanpa memperhatikan jenis limbah dan cara penanganannya karena dari setiap limbah yang ada mempunyai ciri berbeda terhadap dampak yang ditimbulkannya.

Sangat penting untuk menjaga ekosistem lingkungan, sehingga penanganan limbah perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya hilangnya keseimbangan alam yang dapat menimbulkan berbagai ancaman pada masa yang akan datang. Terdapat dua alternatif dalam

menangani limbah, yaitu penanganan dengan tujuan mereduksi bahan-bahan limbah sampai dengan batas baku mutu limbah yang aman untuk dibuang, dan penanganan melalui proses pengolahan limbah menjadi bahan atau produk yang dapat dimanfaatkan. Proses penanganan biasanya dapat dilakukan dengan berbagai metode, tergantung pada jenis dan karakteristik limbah yang ditangani.

Oleh karena itu, kehadiran buku ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi masyarakat agar dapat mengolah dengan baik limbah yang dihasilkan. Di dalamnya berisi tentang pengertian dari masing-masing limbah, karakteristik, manfaat, dan jenis dari limbah itu sendiri. Untuk kelengkapan dan kesempurnaan buku ini pada masa depan, penulis membuka diri untuk menerima masukan, baik berupa kritik, maupun saran yang membangun demi sempurnanya buku ini. Akhir kata, penulis berharap buku ini bermanfaat bagi masyarakat dan memberikan inspirasi bagi semua kalangan untuk bersama-sama mengolah mendukung penanganan limbah yang dihasilkan.

Makassar, Maret 2021

Penulis

Pengertian Limbah

Berdasarkan PP No. 18/1999 Jo.PP 85/1999, limbah didefinisikan sebagai sisa/buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan manusia. Hampir semua kegiatan manusia menghasilkan limbah. Limbah tersebut sering kali dibuang ke lingkungan, sedangkan jumlah limbah yang dihasilkan terus meningkat, seiring dengan pertambahan penduduk dan kemajuan teknologi, serta perekonomian. Ketika mencapai jumlah atau konsentrasi tertentu, limbah yang dibuang bebas ke lingkungan dapat memberikan dampak negatif.

Limbah adalah zat atau bahan buangan yang dihasilkan dari proses kegiatan manusia. Limbah dapat berupa tumpukan barang bekas, sisa kotoran hewan, tanaman, atau sayuran. Keseimbangan lingkungan menjadi terganggu jika jumlah hasil buangan tersebut melebihi ambang batas toleransi lingkungan. Apabila konsentrasi dan kuantitas melebihi ambang batas, keberadaan limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, terutama bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah bergantung pada jenis dan karakteristik limbah.

Secara umum, karakteristik limbah adalah sebagai berikut, antara lain:

1. Berukuran mikro, artinya ukuran limbah terdiri atas partikel- partikel kecil yang dapat dilihat.
2. Penyebarannya berdampak banyak, artinya bukan hanya berdampak pada lingkungan yang terkena limbah saja melainkan berdampak pada sektor-sektor kehidupan lainnya, seperti sektor ekonomi, sektor kesehatan dan lain-lain.
3. Berdampak jangka panjang (antargenerasi), artinya masalah limbah tidak dapat diselesaikan dalam waktu singkat, sehingga dampaknya akan ada pada generasi yang akan datang.

Pengelompokan Limbah

A. Pengelompokan Berdasarkan Jenis Senyawa

- **Limbah Organik**

Limbah organik merupakan limbah yang memiliki unsur hidrokarbon (hidrogen dan karbon) yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme. Limbah organik adalah limbah yang dapat diuraikan secara sempurna oleh proses biologi, baik aerob, maupun anaerob. Limbah organik mudah membusuk, seperti sisa makanan, sayuran, daun-daunan kering, potongan-potongan kayu, dan sebagainya. Limbah organik terdiri atas bahan-bahan yang bersifat organik, seperti dari kegiatan rumah tangga atau kegiatan industri.

Limbah ini dapat juga dengan mudah terurai melalui proses yang alami. Limbah ini mempunyai sifat kimia yang stabil, sehingga zat tersebut akan mengendap ke dalam tanah, dasar sungai, danau, serta laut, dan selanjutnya, limbah akan mempengaruhi organisme yang hidup di dalamnya. Limbah organik dapat mengalami pelapukan (dekomposisi) dan terurai menjadi bahan yang lebih kecil dan tidak berbau (sering disebut dengan kompos). Limbah organik yang mudah membusuk dapat dimanfaatkan kembali dengan cara dijadikan kompos. Kompos dapat dimanfaatkan sebagai pupuk/penyubur tanaman. Pembuatan kompos dari limbah organik dapat menjadi salah satu solusi untuk menangani limbah organik. Kompos merupakan hasil pelapukan bahan-bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, sampah, rumput, dan bahan lain sejenis yang proses pelapukannya dipercepat oleh bantuan manusia.

Sampah pasar khusus, seperti pasar sayur mayur, pasar buah, atau pasar ikan, jenisnya relatif seragam, sebagian besar (95%) berupa sampah organik, sehingga lebih mudah ditangani. Sampah yang berasal dari permukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik.

Limbah organik dibagi menjadi dua, antara lain:

1. Limbah Organik Basah

Limbah ini memiliki kandungan air yang cukup tinggi, contohnya kulit buah dan sisa sayuran.

2. Limbah Organik Kering

Limbah ini memiliki kandungan air yang relatif sedikit, contohnya kayu, ranting pohon, dedaunan kering, dan lain lain.



- **Limbah Anorganik**

Limbah anorganik merupakan limbah yang tidak memiliki unsur hidrokarbon (hidrogen dan karbon) dan sulit diuraikan oleh mikroorganisme, contohnya plastik, karet, besi, kaleng bekas, dan pecahan kaca.

Limbah anorganik tidak dapat dibiarkan begitu saja karena sulit diuraikan secara alami oleh mikroorganisme. Oleh karena itu limbah anorganik dapat didaur ulang menjadi produk-produk yang dapat digunakan kembali oleh manusia, seperti kaleng aluminium yang didaur ulang menjadi kaleng aluminium kembali, atau kertas bekas didaur ulang menjadi kertas siap pakai lagi. Salah satu cara agar pemanfaatan limbah dapat dilakukan dengan efektif dan efisien yaitu dengan memilah limbah tersebut saat dibuang.



Gambar 1. Tumpukan limbah plastik yang akan di olah

B. Pengelompokan Berdasarkan Wujud

- **Limbah Berwujud Cair**

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Pengertian limbah cair lainnya adalah sisa hasil buangan proses produksi atau aktivitas domestik yang berupa cairan. Limbah cair dapat berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur (tersuspensi) ataupun terlarut dalam air.



Gambar 2. Buangan limbah B3 yang mencemari sungai

Limbah cair dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok, yaitu:

- ◆ Limbah cair domestik (*domestic wastewater*), yaitu limbah cair hasil buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan, perdagangan, perkantoran, dan sarana jenis, contohnya air detergen sisa cucian, air sabun, dan air tinja.
- ◆ Limbah cair industri (*industrial wastewater*), yaitu limbah cair hasil buangan industri, contohnya air sisa cucian daging, buah, atau sayur dari industri pengolahan makanan dan dari sisa pewarnaan kain/bahan dari industri tekstil.
- ◆ Rembesan dan luapan (*infiltration and inflow*), yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai sumber yang memasuki saluran pembuangan limbah cair melalui rembesan yang masuk ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan, contohnya air buangan dari talang atap, pendingin ruangan (AC), halaman, bangunan perdagangan industri, serta pertanian atau perkebunan.
- ◆ Air hujan (*storm water*), yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan dipermukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair, sehingga disebut limbah cair.

Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam sistem prosesnya. Selain itu, ada juga bahan baku mengandung air, sehingga dalam proses pengolahannya air harus dibuang. Air terikut dalam proses pengolahan kemudian dibuang, misalnya ketika dipergunakan untuk pencuci suatu bahan sebelum diproses lanjut. Air ditambah bahan kimia tertentu, kemudian diproses dan setelah itu dibuang. Semua jenis perlakuan ini mengakibatkan buangan air.

Limbah cair yang tidak ditangani atau diolah dengan baik dapat menimbulkan dampak besar bagi pencemaran lingkungan dan menjadi sumber penyakit bagi masyarakat. Industri primer pengolahan hasil hutan merupakan salah satu penyumbang limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Untuk industri-industri besar, seperti industri pulp dan kertas, teknologi pengolahan limbah cair yang dihasilkannya mungkin telah memadai. Namun, tidak demikian bagi industri kecil atau sedang. Selain itu, limbah cair domestik biasanya tidak terlalu diperhatikan dengan baik. Padahal, jika dibiarkan terus menerus dalam jangka waktu lama dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat, contohnya limbah air deterjen sisa cucian yang dibiarkan dalam jangka panjang akan berubah menjadi sumber pencemar lingkungan dan sumber penyakit. Penting bagi sektor industri ataupun domestik untuk memahami dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair karena dampak yang ditimbulkan limbah cair bagi lingkungan cukup besar.

Teknologi pengolahan air limbah merupakan kunci untuk memelihara kelestarian lingkungan. Apapun jenis teknologi pengolahan air limbah domestik ataupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan. Pengolahan limbah cair dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain: pengolahan secara biologi, pengolahan secara fisika, dan pengolahan secara kimia.

- **Limbah Berwujud Padat**

Limbah padat merupakan salah satu limbah yang paling banyak terdapat di lingkungan Biasanya, limbah padat disebut sampah.



Gambar 3. Sisa buangan limbah kaleng untuk minuman

Limbah padat diklasifikasikan menjadi enam kelompok, antara lain:

- ◆ Sampah organik mudah busuk (*garbage*), yaitu limbah padat semi basah, berupa bahan-bahan organik yang mudah membusuk atau terurai mikroorganisme, contohnya sisa dapur, sisa makanan, sampah sayuran, dan kulit buah-buahan.
- ◆ Sampah anorganik dan organik tak membusuk (*rubbish*), yaitu limbah padat anorganik atau organik cukup kering, yang sulit terurai oleh mikroorganisme, sehingga sulit membusuk, contohnya selulosa, kertas, plastik, kaca, dan logam.
- ◆ Sampah abu (*ashes*), yaitu limbah padat yang berupa abu, biasanya, hasil pembakaran. Sampah ini mudah terbawa angin karena ringan dan tidak mudah membusuk.
- ◆ Sampah bangkai binatang (*dead animal*), yaitu semua limbah yang berupa bangkai binatang, seperti tikus, ikan, dan binatang ternak yang mati.

- ◆ Sampah sapuan (*street sweeping*), yaitu limbah padat hasil sapuan jalanan yang berisi berbagai sampah yang tersebar di jalanan, seperti dedaunan, kertas, dan plastik.
- ◆ Sampah industri (*industrial waste*), yaitu semua limbah padat yang bersal dari buangan industri. Komposisi sampah ini tergantung dari jenis industrinya.

- **Limbah Berwujud Gas**

Limbah gas merupakan limbah yang memanfaatkan udara sebagai media. Secara alami, udara mengandung unsur-unsur kimia, seperti O_2 , N_2 , NO_2 , CO_2 , H_2 , dan lain-lain. Penambahan gas yang melampaui kandungan udara alami akan menurunkan kualitas udara. Limbah gas yang dihasilkan berlebihan dapat mencemari udara dan mengganggu kesehatan masyarakat. Zat pencemar yang menyebar melalui udara diklasifikasikan menjadi dua, yaitu partikel dan gas. Partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat dengan mata telanjang, seperti uap air, debu, asap, kabut, dan *fume*. Sementara itu, pencemaran berbentuk gas hanya dapat dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) atau akibat langsung.



Gambar. 4. Asap buangan Pabrik

Biasanya, limbah gas yang dibuang ke udara mengandung partikel-partikel bahan padatan atau cairan yang berukuran sangat kecil dan ringan, sehingga tersuspensi dengan gas-gas tersebut. Bahan padatan dan cairan tersebut disebut sebagai materi *partikulat*, seperti limbah gas yang dihasilkan oleh suatu pabrik yang dapat mengeluarkan gas berupa asap, partikel, serta debu. Apabila limbah ini tidak ditangkap dengan menggunakan alat, maka akan lebih luas tersebar ke udara karena terbawa angin. Jenis dan karakteristik setiap jenis limbah bergantung pada sumber limbah.

Tabel 1. Beberapa Macam Limbah Gas yang Umumnya Ada Di Udara:

No.	Jenis	Keterangan
1.	Karbon monoksida (CO)	Gas tidak berwarna, tidak berbau
2.	Karbon dioksida (CO ₂)	Gas tidak berwarna, tidak berbau
3.	Nitrogen oksida (NO _x)	Gas berwarna dan berbau
4.	Sulfur oksida (SO _x)	Gas tidak berwarna dan berbau tajam
5.	Asam klorida (HCl)	Berupa uap
6.	Amonia (NH ₃)	Gas tidak berwarna, berbau
7.	Metan (CH ₄)	Gas berbau
8.	Hidrogen fluorida (HF)	Gas tidak berwarna
9.	Nitrogen sulfida (NS)	Gas berbau
10.	Klorin (Cl ₂)	Gas berbau

- **Limbah Suara**

Limbah suara ialah limbah yang berupa gelombang bunyi yang merambat di udara. Limbah suara dihasilkan oleh mesin kendaraan, mesin-mesin pabrik, peralatan elektronik, dan sumber-sumber lain.

C. Pengelompokan Berdasarkan Sumber

- **Limbah Domestik**

Limbah domestik adalah limbah yang berasal dari kegiatan permukiman penduduk (rumah tangga) dan kegiatan usaha, seperti pasar, restoran, dan gedung perkantoran, contohnya sisa makanan, kertas, kaleng, plastik, air sabun, detergen, dan tinja.

- **Limbah Industri**

Limbah industri adalah limbah buangan hasil industri, jenis limbah yang dihasilkan tergantung pada jenis industri, contohnya limbah organik cair atau padat banyak dihasilkan oleh industri pengolahan makanan, sedangkan limbah anorganik, seperti logam berat, dihasilkan oleh industri tekstil, industri yang melakukan proses pembakaran menghasilkan limbah gas.

- **Limbah Pertanian**

Limbah pertanian adalah limbah yang berasal dari pertanian. Limbah ini biasanya berwujud senyawa-senyawa anorganik yang berasal dari bahan kimia, yang digunakan untuk kegiatan pertanian. Limbah pertanian berupa limbah tanaman merupakan hasil sampingan dari tanaman yang dibudidayakan dan kaya bahan organik yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk tanaman. Selain itu, limbah pertanian juga dapat berupa sisa pestisida. Limbah pertanian diartikan sebagai bahan yang dibuang di sektor pertanian, misalnya sabut, tempurung kelapa, jerami, dan dedak padi, dan kulit. Secara garis besar, limbah pertanian dibagi menjadi tiga, yaitu limbah pra-panen, saat panen, dan limbah pascapanen, contohnya pupuk, pestisida, dan sisa-sisa tumbuhan.



Gambar 5. Limbah jerami padi untuk diolah jadi kompos

- **Limbah Peternakan**

Limbah ternak merupakan sisa buangan dari suatu kegiatan usaha peternakan, seperti usaha pemeliharaan ternak, rumah potong hewan, pengolahan produk ternak, dan sebagainya. Limbah tersebut, meliputi limbah padat dan limbah cair, seperti feses, urine, sisa makanan, embrio, kulit telur, lemak, darah, bulu, kuku, tulang, tanduk, isi rumen, dan lain-lain. Semakin berkembang usaha peternakan, limbah yang dihasilkan pun semakin meningkat. Total limbah yang dihasilkan peternakan tergantung dari spesies ternak, besar usaha, tipe usaha, dan lantai kandang. Kotoran sapi yang terdiri dari feses dan urine merupakan limbah ternak yang terbanyak dihasilkan dan sebagian besar *manure* dihasilkan oleh ternak ruminansia, seperti sapi, kerbau kambing, dan domba.



Gambar 6. Hasil ternak sapi menghasilkan limbah Biomassa



Gambar 7. Cara pengolahan limbah ternak

Menurut Soehadji (1992), limbah peternakan, meliputi semua kotoran yang dihasilkan dari suatu kegiatan usaha peternakan, baik berupa limbah padat, cair, gas, maupun sisa pakan. Limbah padat merupakan semua limbah yang berbentuk padatan atau dalam fase padat (kotoran ternak, ternak yang mati atau isi perut dari pematangan ternak). Limbah cair adalah semua limbah yang berbentuk cairan atau

dalam fase cairan (air seni atau urine, air dari pencucian alat-alat). Sementara itu, limbah gas adalah semua limbah berbentuk gas atau dalam fase gas. Pencemaran yang ditimbulkan akibat gas metana menyebabkan bau yang tidak sedap untuk lingkungan sekitar. Gas metana (CH_4) berasal dari proses pencernaan ternak ruminansia. Gas metana merupakan salah satu gas yang menyebabkan pemanasan global dan merusak ozon, dengan laju 1% per tahun, dan terus meningkat. Apalagi, di Indonesia, emisi metana per unit pakan atau laju konversi metana lebih besar karena kualitas hijauan pakan yang diberikan rendah. Semakin tinggi jumlah pemberian pakan kualitas rendah, semakin tinggi produksi metana.

- **Limbah Perkebunan**

Limbah perkebunan merupakan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan perkebunan. Sebagian besar limbah perkebunan, seperti kulit buah kakao, kulit buah kopi, “buah semu jambu mete”, pelepah, dan tandan kosong kelapa sawit, limbah tebu, pelepah dan limbah sabut kelapa, merupakan biomassa yang sangat berpotensi untuk diproses menjadi pupuk organik yang bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki struktur tanah menjadi lebih baik dan alami. Rendahnya kandungan bahan organik tanah di perkebunan disebabkan oleh ketidakseimbangan antara penambahan dan hilangnya bahan organik dari tanah, utamanya, melalui proses oksidasi biologis dalam tanah, sehingga perlu dilakukan untuk peningkatan kandungan bahan organik tanah melalui pemberian pupuk organik.



Gambar 8. Hasil perkebunan Kelapa menghasilkan Limbah TKS

- **Limbah Pertambangan**

Limbah pertambangan adalah limbah yang berasal dari kegiatan pertambangan. Kandungan limbah ini berupa material tambang, contohnya logam atau batuan.

D. Berdasarkan karakteristiknya

1. Limbah Cair
2. Limbah Padat
3. Limbah Gas dan Partikel
4. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

1. Limbah Cair

Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam sistem prosesnya. Di samping itu, ada pula bahan baku yang mengandung air, sehingga dalam proses pengolahannya harus dibuang. Air yang digunakan dalam proses pengolahan kemudian dibuang, misalnya ketika dipergunakan untuk pencuci suatu bahan sebelum diproses lanjut. Air dan bahan kimia

tertentu, diproses dan setelah itu, dibuang. Semua proses ini mengakibatkan buangan air.

Industri primer pengolahan hasil hutan merupakan salah satu penyumbang limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Bagi industri-industri besar, seperti industri pulp dan kertas, teknologi pengolahan limbah cair yang dihasilkannya mungkin telah memadai, sedangkan bagi industri kecil atau sedang yang terjadi tidak demikian. Sektor industri kehutanan sangat perlu memahami dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair karena dampak yang ditimbulkan limbah cair bagi lingkungan cukup besar.

Teknologi pengolahan air limbah merupakan kunci untuk memelihara kelestarian lingkungan. Apapun jenis teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun, harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi, teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi yang dimiliki masyarakat bersangkutan.

Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut, secara umum, dibagi menjadi tiga metode pengolahan, antara lain:

1. Pengolahan Secara Fisika
2. Pengolahan Secara Kimia
3. Pengolahan Secara Biologi

Untuk jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan masing-masing ataupun secara kombinasi. Limbah cair adalah sisa dari suatu hasil usaha atau kegiatan yang berwujud cair (PP 82 Tahun 2001).

- a. Jenis-jenis limbah cair dapat digolongkan berdasarkan pada dua hal, yaitu sifat fisika dan sifat agregat . Keasaman, sebagai salah satu contoh sifat limbah, dapat diukur dengan menggunakan metode Titrimetrik.
- b. Parameter logam, contohnya arsenik (As) dengan metode SSA.

- c. Anorganik non-metalik, contohnya amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dengan metode Biru Indofenol.
- d. Organik agregat, contohnya *Biological Oxygen Demand* (BOD)
- e. Mikroorganisme, contohnya *E. coli* dengan metoda MPN.
- f. Sifat khusus, contohnya asam borat ($\text{H}_3 \text{BO}_3$) dengan metode Titrimetrik
- g. Air laut, contohnya tembaga (Cu) dengan metoda SPR-IDA-SSA.

2. Limbah Padat

Limbah padat berasal dari kegiatan industri dan domestik. Pada umumnya, limbah domestik berbentuk limbah padat rumah tangga, limbah padat kegiatan perdagangan, perkantoran, peternakan, pertanian, dan tempat-tempat umum. Jenis-jenis limbah padat, antara lain: kertas, kayu, kain, karet/kulit tiruan, plastik, metal, gelas/kaca, organik, bakteri, kulit telur, dan lain- lain. Limbah padat adalah hasil buangan industri berupa padatan, lumpur atau bubur, yang berasal dari sisa proses pengolahan. Limbah ini dapat dikategorikan menjadi dua macam, yaitu limbah yang dapat didaur ulang, seperti plastik, tekstil, dan potongan logam, dan limbah padat yang tidak mempunyai nilai ekonomis.

Limbah padat yang tidak mempunyai nilai ekonomis dapat diolah dengan berbagai cara, antara lain: ditimbun pada suatu tempat, diolah kembali, atau dibuang dan dibakar.

3. Limbah Gas dan Partikel

Polusi udara merupakan keadaan tercemarnya udara oleh beberapa *partikulat* zat (limbah) yang mengandung partikel (asap dan jelaga), hidrokarbon, sulfur dioksida, nitrogen oksida, ozon (asap kabut foto kimiawi), karbon monoksida, dan timah. Udara merupakan media pencemar untuk limbah gas. Limbah gas atau asap yang diproduksi pabrik menyebar melalui udara. Secara alamiah, udara mengandung unsur kimia, seperti O_2 , N_2 , NO_2 , CO_2 , H_2 , dan lain-lain.

Penambahan gas ke dalam udara melampaui kandungan alami akibat kegiatan manusia akan menurunkan kualitas udara.

Zat pencemar melalui udara diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu partikel dan gas. Partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat dengan mata telanjang, seperti uap air, debu, asap, kabut dan *fume*. Sementara itu, pencemaran berbentuk gas hanya dapat dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) ataupun akibat langsung. Gas-gas ini, antara lain: SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , hidrokarbon, dan lain-lain.

4. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Menurut PP RI No. 18/1999 tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, adalah sisa suatu kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, yang karena sifat dan atau konsentrasinya, baik secara langsung, maupun tidak langsung, merusak lingkungan hidup, kesehatan, dan manusia.

Limbah B3 dapat diklasifikasikan sebagai zat bahan yang mengandung satu atau lebih senyawa, diantaranya:

- mudah meledak (*explosive*)
- pengoksidasi (*oxidizing*)
- amat sangat mudah terbakar (*extremely flammable*)
- sangat mudah terbakar (*highly flammable*)
- mudah terbakar (*flammable*)
- amat sangat beracun (*extremely toxic*)
- sangat beracun (*highly toxic*)
- beracun (*moderately toxic*)
- berbahaya (*harmful*)
- korosif (*corrosive*)
- bersifat mengiritasi (*irritant*)
- berbahaya bagi lingkungan (*dangerous to the environment*)
- karsinogenik/dapat menyebabkan kanker (*carcinogenic*)
- teratogenik/dapat menyebabkan kecacatan janin (*teratogenic*)
- mutagenik/dapat menyebabkan mutasi (*mutagenic*)

Zat atau bahan-bahan di atas diklasifikasikan sebagai limbah B3 karena memenuhi satu atau lebih karakteristik limbah B3 berikut.

- Limbah mudah meledak, yaitu limbah yang pada suhu dan tekanan standar (25⁰ C, 760 mmHg) dapat meledak dan atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi, yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.
- Limbah mudah terbakar, yaitu limbah yang mempunyai salah atau sifat berikut.
 1. Limbah berupa cairan yang mengandung alkohol yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan atau pada titik nyala tidak lebih dari 40⁰ C (140⁰ F) akan menyala apabila terjadi kontak dengan api, percikan api, atau sumber nyala lain, pada tekanan udara 760 mmHg.
 2. Limbah bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar (25⁰ C, 760 mmHg) dapat mudah menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air, atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar, maka menyebabkan kebakaran yang akan terjadi terus menerus.
 3. Merupakan limbah yang bertekanan yang mudah terbakar.
 4. Merupakan limbah pengoksidasi.
- Limbah yang bersifat reaktif, yaitu limbah yang mempunyai salah satu sifat berikut.
 1. Limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
 2. Limbah yang dapat bereaksi hebat dengan air.
 3. Limbah yang apabila bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap, atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
 4. Merupakan limbah sianida, sulfida, atau amonia yang pada kondisi pH antara 2 dan 12,5, dapat menghasilkan gas,

uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

5. Limbah yang mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25°C , 760 mmHg).
 6. Limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.
- Limbah beracun, yaitu limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, kulit, atau mulut.
 - Limbah yang menyebabkan infeksi, yaitu limbah kedokteran, limbah dari laboratorium atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular.
 - Limbah korosif, yaitu limbah yang mempunyai salah satu sifat berikut.
 1. menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit
 2. menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja
 3. mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk bersifat basa.

Berbagai produk yang dapat menjadi limbah B3, antara lain:

- Produk Automotif, contohnya bahan bakar, oli kendaraan, aki, dan pembersih kendaraan.
- Produk untuk pemeliharaan rumah, contohnya cat, pewarna, dan pengencer cat.
- Pestisida, contohnya insektisida, racun tikus, dan kamfer.
- Pembersih rumah, contohnya pembersih lantai, pemutih, dan pengkilap oven.
- Produk lain, contohnya baterai, kosmetik, dan pemoles sepatu.

Pengolahan Dan Penanganan Limbah

Penanganan limbah yang baik akan menjamin kenyamanan bagi semua orang. Dipandang dari sudut sanitasi, penanganan limbah yang baik akan menghasilkan hal-hal berikut ini.

1. menjamin tempat tinggal/tempat kerja yang bersih
2. mencegah timbulnya pencemaran lingkungan
3. mencegah berkembangbiaknya hama penyakit dan vektor penyakit

Usaha untuk mengurangi dan menanggulangi pencemaran lingkungan meliputi dua cara pokok, yaitu:

1. Pengendalian non-teknis, yaitu suatu usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara menciptakan peraturan perundang-undangan yang dapat merencanakan, mengatur, dan mengawasi segala bentuk kegiatan industri dan bersifat mengikat, sehingga dapat memberi sanksi hukum bagi pelanggarnya.
2. Pengendalian teknis, yaitu suatu usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara-cara yang berkaitan dengan proses produksi, seperti perlu tidaknya mengganti proses, mengganti sumber energi/bahan bakar, instalasi pengolah limbah atau menambah alat yang lebih modern/ canggih. Hal ini yang perlu diperhatikan, yaitu:
 1. mengutamakan keselamatan manusia
 2. teknologinya harus sudah dikuasai dengan baik
 3. secara teknis dan ekonomis, dapat dipertanggungjawabkan

PENANGANAN LIMBAH PADAT

Limbah padat dapat dihasilkan dari industri, rumah tangga, rumah sakit, hotel, pusat perdagangan/restoran, maupun pertanian/peternakan. Penanganan limbah padat melalui beberapa tahapan, antara lain:

1. Penampungan dalam bak sampah
2. Pengumpulan sampah
3. Pengangkutan
4. Pembuangan di TPA

Sampah yang telah berada di TPA akan mengalami berbagai macam perlakuan, seperti proses perubahan menjadi bahan makanan sapi/ternak yang digembala di TPA, disortir oleh pemulung, dan diolah menjadi pupuk kompos.

Berikut ini beberapa metode penanganan limbah organik padat, diantaranya:

1. *Composting*

Composting adalah penanganan limbah organik menjadi kompos yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, melalui proses fermentasi. Bahan baku untuk membuat kompos yaitu sampah kering maupun hijau dari sisa tanaman, sisa makanan, kotoran hewan, sisa bahan makanan, dan lain-lain. Dalam proses pembuatan kompos, bahan baku akan mengalami dekomposisi/penguraian oleh mikroorganisme.

Proses sederhana pengomposan berlangsung secara anaerob dan sering menimbulkan gas. Sementara itu, proses pengomposan secara aerob membutuhkan oksigen yang cukup dan tidak menghasilkan gas. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses pengomposan, yaitu:

1. Ukuran bahan: semakin kecil ukuran bahan semakin cepat proses pengomposan.
2. Kandungan air: tumpukan bahan yang mengandung sedikit air akan berjamur, sehingga proses penguraiannya lambat dan tidak

sempurna. Tetapi, jika kelebihan air, maka akan berubah menjadi anaerob dan tidak menguntungkan bagi organisme pengurai.

3. Aerasi: aerasi yang baik akan mempercepat proses pengomposan, sehingga perlu pembalikan atau pengadukan kompos.
4. Derajat keasaman (pH): agar proses pengomposan berlangsung cepat, pH kompos jangan terlalu asam, maka perlu penambahan kapur atau abu dapur.
5. Suhu: suhu optimal pengomposan berlangsung pada 30–45⁰ C.
6. Perbandingan C dan N: proses pengomposan dapat dihentikan bila komposisi C/N mendekati perbandingan C/N tanah, yaitu 10–12.
7. Kandungan bahan sampah: seperti lignin, wax (malam), damar, dan selulosa yang tinggi, akan memperlambat proses pengomposan.

Cara pembuatan kompos, melalui tiga cara, yaitu:

1. Menggunakan Komposter
2. Tumpukan Terbuka (*Open Windrow*)
3. *Discing* (Menggunakan Cacing)

Di dalam kompos, terdapat unsur-unsur hara yang dibutuhkan tanaman, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman, dan sering disebut pupuk organik. Dalam proses pengomposan, bahan baku kompos mengalami perubahan kimiawi oleh mikroorganisme/bakteri yang membutuhkan nitrogen untuk hidupnya. Akan tetapi, bahan baku kompos tidak selalu mengandung nitrogen yang cukup untuk kebutuhan bakteri pengurai tersebut, sehingga perlu diberi tambahan nitrogen, salah satunya EM 4 (*effective microorganism 4*), yang berfungsi sebagai aktivator. Hal ini akan membantu bakteri hidup berkembang dengan baik, sehingga proses penguraian bahan baku kompos dan pengomposan berlangsung lebih cepat. Jika aerasi kurang, maka yang terjadi adalah proses pembusukan dan hal ini akan menghasilkan bau busuk akibat terbentuknya amoniak (NH₃) dan asam sulfida (H₂S).

Kompos dari bahan baku organik memiliki beberapa kegunaan, antara lain:

1. memperbaiki kualitas tanah;
2. meningkatkan kemampuan tanah dalam melakukan pertukaran ion;
3. membantu pengolahan sampah;
4. mengurangi pencemaran lingkungan;
5. membantu melestarikan sumber daya alam;
6. membuka lapangan kerja baru;
7. mengurangi biaya operasional bagi petani atau pecinta tanaman.

2. Bio Gas

Bio Gas ialah pengubahan sampah organik yang berasal dari tinja manusia ataupun kotoran hewan menjadi gas yang dapat berfungsi sebagai bahan bakar alternatif. Kandungan bio gas antara lain metana (CH_4) dalam komposisi yang terbanyak, karbon dioksida (CO_2), nitrogen (N_2), karbon monoksida (CO), oksigen (O_2), dan hidrogen sulfida (H_2S). Gas metana murni adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Agar efektif, proses pengubahan ini harus dilakukan pada tingkat kelembaban yang sesuai, suhu tetap, dan pH netral.

3. Makanan Ternak (*Hog Feeding*)

Hog feeding adalah pengolahan sampah organik menjadi makanan ternak. Agar dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak, sampah organik harus dipilih dan dibersihkan terlebih dahulu. Selain itu, juga agar tidak tercampur dengan sampah yang mengandung logam berat atau bahan-bahan yang membahayakan kesehatan ternak.

Berikut ini beberapa metode penanganan limbah anorganik padat, yaitu:

1. Empat R atau 4R (*replace, reduce, recycle dan reuse*)

a. *Replace*

Replace merupakan usaha mengurangi pencemaran dengan menggunakan barang-barang yang ramah lingkungan, contohnya penggantian plastik dengan daun sebagai pembungkus, penggantian TEL dengan MTBE untuk anti- *knocking* pada mesin, meminimalisir penggunaan CFC sebagai pendingin dan lain-lain.

b. *Reduce*

Reduce merupakan usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan meminimalkan produksi sampah, contohnya mengganti kantong plastik dengan tas sendiri saat berbelanja, membeli deterjen, pelembut pakaian, minyak goreng, dan lain-lain, kemasan isi ulang, membeli bahan- bahan makanan atau keperluan lain dalam kemasan besar agar lebih ekonomis.

c. *Recycle*

Recycle merupakan usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara mendaur ulang sampah dengan teknologi khusus. Proses daur ulang biasanya dilakukan oleh pabrik/industri untuk membuat sampah menjadi produk lain yang dapat dimanfaatkan. Dalam hal ini, pemulung cukup berjasa. Selain itu, pemulung juga mendapatkan keuntungan dengan memilah sampah yang dapat didaur ulang, sehingga mendapatkan penghasilan. Sampah-sampah ini, misalnya plastik-plastik bekas yang dapat didaur ulang menjadi ember, gantungan baju, pot tanaman, dan lain-lain.

d. *Reuse*

Reuse merupakan usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara memanfaatkan kembali barang- barang yang seharusnya dibuang, misalnya botol/kaleng bekas yang dimanfaatkan sebagai wadah, kain perca digunakan sebagai keset, plastik bekas kemasan digunakan untuk kantong belanja/tas, dan lain-lain.

2. *Incenerator*

Incenerator adalah alat yang digunakan untuk membakar sampah secara terkendali pada suhu tinggi. Insenerator efisien karena sanggup mengurangi volume sampah hingga 80%. Residunya berupa abu sekitar 5–10% dari total volume sampah yang dibakar dan dapat digunakan sebagai penimbun tanah. Insenerator memiliki kekurangan, yakni harganya yang mahal dan tidak dapat digunakan untuk memusnahkan sampah logam.

3. *Sanitary Land fill*

Sanitary land fill adalah metode penanganan limbah padat dengan cara membuangnya pada area tertentu. Ada tiga metode *sanitary landfill*, antara lain:

a. Metode Galian Parit (*Trenc Method*)

Metode ini dilakukan dengan cara membuang sampah ke dalam galian parit yang memanjang. Tanah bekas galian digunakan untuk menutup parit. Sampah yang ditimbun kemudian dipadatkan dan diratakan. Setelah parit penuh, dibuatlah parit baru di sebelah parit yang telah penuh tersebut.

b. Metode Area

Metode ini dilakukan dengan cara membuang sampah ke atas permukaan tanah yang rendah, rawa, atau lereng, kemudian ditutupi dengan tanah yang diperoleh ditempat tersebut.

c. Metode *Ramp*

Metode ini merupakan gabungan dari metode galian parit dan area. Pada area yang rendah, tanah digali lalu sampah ditimbun tanah setiap hari dengan ketebalan 15 cm. Setelah stabil, lokasi tersebut diratakan dan digunakan untuk jalur hijau (pertamanan), lapangan olahraga, tempat rekreasi, dan lain-lain.

4. Penghancuran Sampah (*Pulverisation*)

Penghancuran sampah (*pulverisation*) adalah proses pengolahan sampah anorganik padat dengan cara menghancurkannya di dalam mobil sampah yang dilengkapi dengan alat pelumat sampah,

sehingga sampah akan hancur menjadi potongan-potongan kecil yang dapat dimanfaatkan untuk menimbun tanah yang cekung atau yang letaknya rendah.

5. Pengepresan Sampah (*Reduction Mode*)

Pengepresan sampah (*reduction mode*) merupakan proses pengolahan sampah dengan cara mengepres sampah menjadi bentuk padat dan ringkas, sehingga tidak memakan banyak tempat.

Penanganan Limbah cair

Sekitar 80% air yang digunakan manusia untuk aktivitasnya akan dibuang lagi dalam bentuk air yang sudah tercemar, baik dalam industri, maupun rumah tangga. Untuk itu, diperlukan penanganan limbah dengan baik agar air buangan tidak berubah menjadi polutan. Tujuan pengaturan pengolahan limbah cair ini adalah sebagai berikut, antara lain:

1. Untuk mencegah pengotoran air permukaan (sungai, waduk, danau, rawa, dan lain-lain)
2. Untuk melindungi biota yang ada di dalam tanah dan perairan
3. Untuk mencegah berkembangbiaknya bibit penyakit dan vektor penyakit, seperti nyamuk, kecoa, lalat, dan lain-lain.
4. Untuk menghindari pemandangan dan bau yang tidak sedap

Pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan cara- cara sebagai berikut:

1. Cara fisis, yaitu pengolahan limbah cair dengan beberapa tahap proses kegiatan, antara lain:
 - a. Proses penyaringan (*screening*), yaitu menyisahkan bahan tersuspensi yang berukuran besar dan mudah mengendap.
 - b. Proses flotasi, yaitu menyisahkan bahan yang mengapung, seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses berikutnya.
 - c. Proses filtrasi, yaitu menyisahkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air atau menyumbat membran yang akan digunakan dalam proses osmosis.

- d. Proses adsorpsi, yaitu menyisahkan senyawa anorganik dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika diinginkan untuk menggunakan kembali air buangan tersebut, biasanya menggunakan karbon aktif.
 - e. Proses *reverse* osmosis (teknologi membran), yaitu proses yang dilakukan untuk memanfaatkan kembali air limbah yang telah diolah sebelumnya melalui beberapa proses kegiatan. Biasanya teknologi ini diaplikasikan pada unit pengolahan kecil dan teknologi ini termasuk mahal.
2. Cara kimiawi, yaitu pengolahan air buangan yang dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor dan zat organik beracun dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Metode kimia dibedakan menjadi dua, yaitu metode nondegradatif, misalnya koagulasi, dan metode degradatif, misalnya oksidasi polutan organik dengan pereaksi lemon, degradasi polutan organik dengan sinar ultraviolet, dan lain-lain.
 3. Cara biologis, yaitu pengolahan air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme alami untuk menghilangkan polutan, baik secara aerobik, maupun anaerobik. Pengolahan ini dianggap sebagai cara yang murah dan efisien.

Metode pengolahan limbah cair, meliputi beberapa cara, antara lain:

1. *Dillution* atau Pengenceran

air limbah dibuang ke sungai, danau, rawa atau laut agar mengalami pengenceran, sehingga konsentrasi polutannya menjadi rendah atau hilang. Cara ini dapat mencemari lingkungan bila limbah tersebut mengandung bakteri patogen, larva, telur cacing atau bibit penyakit yang lain. Cara ini dilakukan dengan syarat air sungai, waduk, atau rawa tersebut tidak dimanfaatkan untuk keperluan lain, volume airnya banyak, sehingga pengenceran bisa 30–40 kalinya, air tersebut harus mengalir.

2. Sumur Resapan

yaitu sumur yang digunakan untuk tempat penampungan air limbah yang telah mengalami pengolahan dari sistem lain. Air tinggal mengalami peresapan ke dalam tanah, dan sumur dibuat pada tanah *porous*, diameter 1–2,5 m dan kedalaman 2,5 m. Sumur ini dapat dimanfaatkan selama 6–10 tahun.

3. *Septic Tank*

merupakan metode terbaik untuk mengelola air limbah walaupun biayanya mahal, rumit, dan memerlukan tanah yang luas. *Septic tank* memiliki empat bagian ruang untuk tahap-tahap pengolahan, antara lain:

a. Ruang pembusukan

Air Kotor Akan Bertahan 1-3 Hari Dan Akan Mengalami Proses pembusukan, sehingga menghasilkan gas, cairan, dan lumpur (*sludge*).

b. Ruang lumpur

Merupakan ruang empat penampungan hasil proses pembusukan yang berupa lumpur. Bila penuh, lumpur dapat dipompa keluar.

c. *Dosing chamber*

di dalamnya terdapat *siphon McDonald* yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan air yang akan dialirkan ke bidang resapan agar merata.

d. Bidang resapan

Bidang yang menyerap cairan keluar dari *dosing chamber* dan menyaring bakteri patogen ataupun mikroorganisme lain. Panjang minimal resapan ini sepuluh meter, dibuat pada tanah *porous*.

4. *Riol* atau Parit

menampung semua air kotor dari rumah, perusahaan, ataupun lingkungan. Apabila *riol* digunakan juga untuk menampung air hujan, maka disebut *combined system*. Sementara itu, bila penampung

hujannya dipisahkan, maka disebut *separated system*. Air kotor pada *riol* mengalami proses pengolahan sebagai berikut, antara lain:

- a. Penyaringan (*screening*), menyaring benda-benda yang mengapung di air.
- b. Pengendapan (*sedimentation*), air limbah dialirkan ke dalam bak besar secara perlahan supaya lumpur dan pasir mengendap.
- c. Proses biologi (*biological process*), menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik.
- d. Saringan pasir (*sand filter*)
- e. Desinfeksi (*desinfection*), menggunakan kaporit untuk membunuh kuman.
- f. Pengenceran (*dillution*), mengurangi konsentrasi polutan dengan membuangnya di sungai/laut.

Penanganan Limbah Gas, Debu, dan Partikel

Filter udara digunakan untuk menangkap debu/partikel yang keluar dari cerobong atau *stack*. Berikut ini beberapa macam filter udara, antara lain:

1. Pengendapan siklon

adalah alat yang digunakan untuk mengendapkan debu atau abu yang ikut bersama gas buangan atau udara dalam ruang pabrik yang berdebu. Pengendap siklon memanfaatkan gaya sentrifugal dari udara atau gas buang yang sengaja dihembuskan melalui tepi dinding tabung siklon, sehingga partikel yang relatif berat akan jatuh ke bawah. Debu, abu, atau partikel yang dapat diendapkan oleh siklon berukuran antara 5–40 mikro. Semakin besar ukuran debu, semakin cepat partikel diendapkan.

2. Filter basah

adalah alat yang digunakan untuk membersihkan udara kotor dengan cara menyemprotkan air dari bagian atas alat dan udara kotor dari bagian bawah alat. Pada saat udara kotor kontak dengan air, debu akan ikut bersama semprotan air kemudian akan turun. Jika menginginkan hasil yang lebih baik, maka penggunaan pengendap siklon dan filter basah dapat digabungkan. Penggabungan kedua alat ini

menghasilkan alat penangkap debu yang dinamakan pengendap siklon filter basah.

3. Pengendap sistem gravitasi

adalah alat yang digunakan untuk membersihkan udara kotor yang ukuran partikelnya relatif besar, sekitar 50 mikro atau lebih. Prinsip kerja alat ini yaitu mengalirkan udara kotor ke alat, sehingga pada waktu terjadi perubahan kecepatan secara tiba-tiba, debu akan jatuh terkumpul ke bawah akibat gaya beratnya sendiri. Kecepatan pengendapan tergantung pada dimensi alat yang digunakan.

4. Pengendap elektrostatik

adalah alat yang digunakan untuk membersihkan udara kotor dalam jumlah (volume) besar dan waktu yang singkat, sehingga udara yang keluar dari alat ini relatif bersih. Alat ini berupa tabung silinder, dindingnya diberi muatan positif, sedangkan di tengah ada sebuah kawat, yang merupakan pusat silinder, sejajar dengan dinding tabung dan diberi muatan negatif. Adanya tegangan yang berbeda akan menimbulkan *corona discharga* di daerah sekitar pusat silinder. Hal ini menyebabkan udara kotor seolah-olah mengalami ionisasi. Kotoran menjadi ion negatif yang akan ditarik dinding tabung, sedangkan udara bersih akan berada di tengah silinder kemudian terhembus keluar.

Penanganan Limbah Suara

Bising merupakan polusi pendengaran. Suara-suara yang sangat bising dapat mengganggu pendengaran dan membuat orang merasa tidak nyaman. Sumber kebisingan dapat dikurangi atau dihilangkan sama sekali dengan cara sebagai berikut, antara lain:

1. mematikan atau menghilangkan sumber suara/sumber kebisingan
2. memasang alat peredam suara
3. mengendalikan jejak propagasi, mengganti bahan baku ruangan dengan bahan yang dapat meredam suara

4. pengendalian pada penerima suara, yaitu dengan melakukan upaya perlindungan pada pendengaran manusia, seperti tutup/sumbat telinga.

Dampak Pengolahan Limbah terhadap Lingkungan

Pengolahan limbah yang baik dapat memberi manfaat bagi masyarakat dan lingkungan. Sebaliknya, bila limbah tidak dikelola dengan baik, maka akan berdampak buruk bagi lingkungan.

a. Dampak positif pengolahan limbah

Pengolahan limbah yang benar akan memberikan dampak positif, diantaranya:

1. Limbah dapat digunakan untuk menimbun lahan/dataran rendah.
2. Limbah dapat digunakan untuk pupuk.
3. Limbah dapat digunakan sebagai pakan ternak, baik secara langsung, maupun tidak langsung, setelah mengalami proses pengolahan terlebih dahulu.
4. Pengolahan limbah dapat mengurangi tempat perkembangbiakan penyakit/vektor penyakit.
5. Pengolahan limbah dapat mengurangi kemungkinan terjadinya penyakit menular.
6. Pengolahan limbah dapat menghemat biaya pemeliharaan kesehatan karena masyarakat yang sehat.

b. Dampak negatif apabila limbah tidak dikelola dengan baik

Pengolahan limbah yang kurang baik akan memberikan dampak negatif, antara lain:

1. Menjadi tempat berkembangbiaknya kuman penyakit/vektor penyakit
2. Menyebabkan gangguan kesehatan, seperti sesak napas, insomnia, atau stress
3. Lingkungan menjadi kotor, bau, saluran air tersumbat, banjir
4. Lingkungan menjadi tidak indah dipandang

5. Menurunkan minat orang datang ke tempat tersebut
6. Menaikkan angka kesakitan bagi masyarakat
7. Membutuhkan dana besar untuk membersihkan lingkungan
8. Menurunkan pemasukan pendapatan daerah karena kurangnya wisatawan yang berkunjung

LIMBAH BUAH MARKISA

Markisa berasal dari daerah tropis dan subtropis di Amerika. Markisa (Portugis: *maracuja*; Spanyol: *maracuya*) tergolong genus *Passiflora*. Di Indonesia terdapat dua jenis markisa, yaitu markisa ungu (*passiflora edulis*) dan markisa kuning (*passiflora flavicarva*) tumbuh di dataran rendah. Klasifikasi markisa sebagai berikut. *Kingdom: Plantae; divisio: Magnoliophyta; kelas: Magnoliopsida; ordo: Malpighiales; family: Passifloraceae; genus: Passiflora; spesies: Passiflora edulis*. Buah markisa memiliki banyak kandungan. Berikut ini *nilai kandungan nutrisi markisa per 100 g* (Sumber: *USDA National Nutrient data base*) Prinsip Nilai Gizi Persentase AKG.

- ▶ Energi 97 Kcal 5%
- ▶ Karbohidrat 23,38 g 18%
- ▶ Protein 2,20 g 4%
- ▶ Total Lemak 0,70 g 3%
- ▶ Serat Diet 10,40 g 27%
- ▶ Folates 14 mcg 3%
- ▶ Niacin 1,500 mg 9%
- ▶ *Pyridoxine* 0,100 mg 8%
- ▶ *Riboflavin* 0,130 mg 10%
- ▶ Vitamin A 1274 IU 43%
- ▶ Vitamin C 30 mg 50%
- ▶ Vitamin E 0,02 mcg <1%
- ▶ Vitamin K 0,7 mg 0,5%
- ▶ Elektrolit
- ▶ Kalium 348 mg 7%
- ▶ Mineral

- ▶ Kalsium 12 mg 1,2%
- ▶ Tembaga 0,086 mg 9,5%
- ▶ Besi 1,60 mg 20%
- ▶ Magnesium 29 mg 7%
- ▶ Fosfor 68 mg 10%
- ▶ Selenium 0.6 mcg 1%
- ▶ Seng 0,10 mcg 1%
- ▶ *Phyto-nutrisi*
- ▶ β -karoten 743 mcg -
- ▶ *Crypto-xanthin- β* 41 mcg -

Markisa kaya akan manfaat yang dapat menopang kesehatan tubuh. Berikut ini manfaat yang dapat diperoleh dengan mengonsumsi buah markisa, antara lain:

- ▶ menangkal dan memperkuat kekebalan tubuh terhadap penyakit kanker
- ▶ meredakan insomnia
- ▶ mengatasi berbagai Batuk
- ▶ meredakan alergi
- ▶ Membantu menenangkan tubuh dan membantu tubuh menjadi rileks
- ▶ membantu memperlancar ASI
- ▶ membantu merawat kecantikan wajah dan kulit tubuh
- ▶ memperlancar dan mengatasi penyakit pada peredaran darah
- ▶ mengobati hipertensi
- ▶ menurunkan panas
- ▶ menurunkan kadar kolesterol dalam tubuh
- ▶ membantu tubuh untuk berelaksasi

Buah markisa sering kali kita jumpai di beberapa daerah di Indonesia. Sulawesi Selatan, khususnya Malino, merupakan salah satu daerah yang banyak menghasilkan buah markisa. Markisa banyak dijual di pasar ataupun di kedai-kedai yang biasanya dapat dijadikan sebagai buah tangan. Markisa dapat didapatkan, baik dalam bentuk buah segarnya,

maupun dalam bentuk sirup di daerah ini. Buah markisa yang dihasilkan di daerah ini cukup melimpah. Hal ini dapat dilihat saat penulis berkunjung ke Malino pada hari Minggu 25 September 2016. Hampir semua kedai dan penjual di pasar menjual buah markisa ataupun sirup markisa dengan harga yang bersahabat dengan pembeli. Karena melimpahnya hasil buah markisa, limbah buah markisa pun banyak ditemukan di daerah ini. Adanya limbah, baik itu berupa buah yang busuk, maupun kulit buah markisa yang dibuang begitu saja, akan menimbulkan beberapa masalah. Selain kerugian materiel, bau yang tidak sedap juga dihasilkan dari limbah ini.



Gambar 10. Pengolahan limbah markisa

Untuk mencegah dampak buruk yang dihasilkan dari limbah buah markisa ini, limbah tersebut dapat dimanfaatkan. Saat ini, kulit buah markisa telah banyak diteliti untuk digunakan sebagai pakan ternak, terutama untuk ruminansia. Kulit buah markisa merupakan bagian dari buah markisa yang tidak dapat dikonsumsi oleh manusia dan menjadi limbah. Selain itu, kulit buah markisa juga dapat dijadikan sebagai bahan baku untuk berbagai souvenir. Setelah kulit buah dijemur kering, kulit dapat diolah menjadi kerajinan tangan yang bernilai ekonomis. Limbah dari buah markisa juga dapat dijadikan sebagai bahan dalam pembuatan pupuk organik cair.

LIMBAH PERIKANAN

Produksi perikanan laut di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat dan berkembang. Potensi ikan di Indonesia yang sangat berlimpah dan mengalami peningkatan hasil tangkapan nelayan

yang berkelanjutan, ternyata hanya mencapai nilai 35%-nya saja yang dapat dicapai (Ditjen Perikanan, 2007). Setiap musim masih terdapat antara 25–30% hasil tangkapan ikan laut yang akhirnya harus dibuang. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya:

- a. Keterbatasan pengetahuan dan sarana para nelayan akan cara pengolahan ikan. Hasil tangkapan ikan masih sebatas dipasarkan langsung (berupa ikan segar), atau diolah menjadi ikan asin, pindang, terasi, serta hasil-hasil olahannya.
- b. Tertangkapnya jenis-jenis ikan lain yang kurang bernilai ekonomi atau bahkan sama sekali belum mempunyai nilai jual dipasaran. Akibatnya, ikan harus dibuang kembali ke laut (Ditjen Perikanan, 2007).

Ikan merupakan bahan pangan yang mudah rusak (*perishable food*). Oleh karena itu, begitu ikan ditangkap, proses pengolahan atau pengawetan harus segera dilakukan. Selama pengolahan ikan, masih banyak bagian-bagian dari ikan, baik kepala, ekor, maupun bagian-bagian yang tidak termanfaatkan akan dibuang. Tidak mengherankan jika sisa ikan berjumlah cukup banyak. Terlebih lagi, jika ditambah dengan jenis-jenis ikan tangkapan lainnya yang tidak bernilai ekonomi dan hanya menumpuk menjadi limbah (Resmawati, 2012). Limbah perikanan yang dihasilkan dari kepala, ekor, dan jenis ikan yang tidak dimanfaatkan lagi, ternyata masih mengandung unsur mikro berupa protein dan lemak, yang dapat terurai menghasilkan nitrat dan amonia yang cukup tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair (Setiyawan, 2010). Pupuk organik cair merupakan salah satu jenis pupuk organik yang biasanya terbuat dari limbah hasil perikanan. Pupuk ini dibuat dengan cara menghancurkan limbah perikanan dan sisa-sisa olahan ikan. Kemudian, limbah diproses lebih lanjut dalam bentuk cair dengan kandungan nitrogen 5–9%, fosfor 2–4%, dan kalium 2–7% (Sujatmaka, 1989).

Pupuk organik cair dari bahan baku ikan dilaporkan (Gundoyo, 2003) dapat menurunkan serangan patogen *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, dan *Fusarium spp* pada tanaman kacang panjang. Menurut (Lingga P, 2005), pupuk organik cair dari bahan baku ikan dapat menginduksi *Actynomicetes spp* dan *Rhizobacteria spp* yang

berperan untuk menghasilkan hormon yang tumbuh di sekitar perakaran tanaman.

Limbah hasil perikanan merupakan buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis, yang ketika mencapai jumlah atau konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan (Gintings, 1992). Sementara itu, menurut (Setiyawan, 2010), limbah merupakan hasil sisa produk utama dari suatu proses yang berasal dari bahan dasar atau bahan bantu proses tersebut.

Lebih lanjut, (Setiyawan 2010), menyatakan bahwa limbah juga dapat diartikan sebagai buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan perikanan masih cukup tinggi, yaitu sekitar 20–30% dari produksi ikan yang telah mencapai 6,5 juta ton per tahun. Hal ini berarti sekitar dua juta ton ikan terbuang sebagai limbah.

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan perikanan berupa beberapa macam, yaitu:

- a. Ikan rucah yang bernilai ekonomi rendah, sehingga belum banyak dimanfaatkan sebagai pangan.
- b. Bagian daging ikan yang tidak dimanfaatkan dari rumah makan, rumah tangga, industri pengalengan, atau industri pemfiletan.
- c. Ikan yang tidak terserap oleh pasar, terutama pada musim produksi ikan melimpah kesalahan penanganan dan pengolahan (Ditjen Perikanan, 2007).

1. Jenis-jenis Limbah Hasil Perikanan

Usaha perikanan, selain menghasilkan nilai ekonomi yang tinggi, juga ikut berperan sebagai penghasil limbah. Limbah yang dominan berasal dari usaha perikanan yaitu limbah dan cemaran yang berupa limbah cair yang membusuk, sehingga menghasilkan bau amis/busuk yang sangat mengganggu estetika lingkungan (Ditjen Perikanan, 2007). Sementara itu, menurut (Dewantoro, 2003), limbah

yang dihasilkan dari industri pengolahan hasil perikanan umumnya dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

a. Limbah Padat: Limbah Padat Basah dan Limbah Padat Kering

Limbah padat basah bersifat basah dan dihasilkan oleh usaha perikanan berupa potongan-potongan ikan yang tidak dimanfaatkan. Limbah ini berasal dari proses pembersihan ikan sekaligus mengeluarkan isi perutnya yang berupa jerohan dan gumpalan-gumpalan darah. Selain itu, limbah ini juga berasal dari proses *cleaning* atau pembuangan kepala, ekor, kulit, dan bagian tubuh ikan yang lain, seperti sisik dan insang (Setiyawan, 2010).

Karena proses ini melibatkan banyak aktivitas lain, maka dihasilkan juga limbah padat kering yang berupa sisa/potongan karton kemasan, plastik, kertas, kaleng, tali pengemas, label kemasan, potongan *sterofoam*, dan sebagainya. Kondisi limbah padat kering ini dapat ditemukan dalam keadaan bersih (belum terkontaminasi oleh bahan lain) atau telah terkontaminasi oleh bahan lain, seperti ikan/udang, bahan pencuci produk, darah, dan lendir ikan (Dwicaksono et al. 2013).

Menurut Dewantoro (2003), komposisi limbah padat usaha perikanan terdiri dari empat macam, antara lain: (1) daging merah sebanyak 25%, (2) *bone* (kepala, duri, ekor) sebanyak 55%, (3) isi perut (jerohan dan darah) sebanyak 15%, dan (4) karton, plastik, dan lain-lain, sebanyak 5%. Limbah berupa daging merah, *bone* (kepala, duri, ekor), isi perut, dan karton atau plastik tersebut akan menimbulkan masalah yang serius terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Permasalahan yang mungkin timbul yaitu adanya bau amis dan bau busuk dari potongan ikan akibat proses pembusukan, sehingga mengundang datangnya berbagai vektor penyakit diantaranya lalat dan tikus (Fitria, 2008).

b. Limbah Cair

Limbah cair dari hasil perikanan dapat berupa sisa cucian ikan/udang, darah, dan lendir ikan, yang banyak mengandung minyak ikan, sehingga menimbulkan bau amis yang menyengat. Limbah cair ini

merupakan limbah yang dominan dari usaha perikanan karena selama proses menggunakan air dalam jumlah yang cukup banyak. Limbah cair juga berasal dari sanitasi dan toilet pada lokasi usaha tersebut (Gintings, 1992). Sementara itu, menurut (Dewantoro, 2003), limbah cair adalah segala limbah yang wujudnya cairan, berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur (suspensi), maupun yang terlarut dalam air.

Limbah cair terbagi empat macam, yaitu:

1) Limbah cair domestik (*domestic wastewater*)

Limbah ini berasal dari rumah tangga, bangunan, perdagangan, dan perkantoran, contohnya air deterjen, air sabun, dan air tinja.

2) Limbah cair industri (*industrial wastewater*)

Limbah ini merupakan hasil buangan industri, contohnya air sisa cucian daging, buah, sayur, industri pengolahan, dan sisa pewarna kain dari industri tekstil.

3) Rembesan atau luapan (*infiltration and inflow*)

Rembesan atau luapan merupakan limbah cair yang berasal dari berbagai sumber yang memasuki saluran pembuangan limbah melalui rembesan ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan, melalui pipa yang bocor, pecah, dan rusak. Sementara itu, luapan dapat masuk melalui bagian saluran yang terbuka atau terhubung ke permukaan, contohnya air buangan dari talang, pendingin ruangan (AC), tempat parkir, halaman, bangunan perdagangan, industri, serta pertanian/perkebunan.

4) Air hujan (*storm water*).

Air hujan dapat membawa partikel-partikel buangan padat atau cair.

c. Limbah Hasil Samping

Limbah hasil samping merupakan sisa produksi yang masih dapat dipergunakan untuk keperluan produksi yang lain, diantaranya: potongan daging sisa pemfiletan (biasa disebut dengan kegiatan *trimming*), potongan tubuh yang telah diambil dagingnya untuk filet,

atau daging merah (*red meat*) dari hasil seleksi daging ikan tuna yang akan dikalengkan (Dewantoro, 2003).

Fitria (2008) menyatakan bahwa limbah hasil samping adalah jenis-jenis ikan yang tertangkap, namun tidak/kurang ekonomis untuk diolah lebih lanjut, sehingga dibuang. Limbah ini seperti biasanya didapatkan dalam operasi penangkapan ikan dengan menggunakan pukat udang (*trawl*). Dalam perkembangannya, dengan alasan ekonomis dan kesejahteraan awak kapal, limbah hasil samping ini dibekukan dan dijual kepada pedagang ikan ketika kapal mendarat di pelabuhan. Namun, sampai akhir tahun 2003, masih dijumpai perusahaan penangkapan ikan di kawasan Papua dan Maluku yang tidak mengizinkan awak kapalnya mengumpulkan dan membawa ikan hasil samping ini. Alasannya, untuk menghindari beban pendinginan yang terlalu besar pada ruangan pendingin (*cool storage*) kapal. Konsekuensinya, awak kapal akan membuang begitu saja ikan-ikan hasil tangkapan tersebut (dalam keadaan mati) ke laut (Dewantoro, 2003).

Pada umumnya, proses masuknya limbah ini, terutama limbah cair (limbah padat dianggap telah dipisahkan oleh pengelola), baik sebagai produk sampingan (*by product*), maupun tersaring dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dari industri pengolahan hasil perikanan ke laut, baik perusahaan, maupun *home industry*, yang ada di Indonesia, dialirkan dari pabrik langsung menuju pantai atau melalui suatu *outfall*. *Outfall* yang digunakan dapat berupa pipa pembuangan yang terlihat di atas permukaan air laut, ataupun pipa yang ditanam di bawah permukaan air (masyarakat biasanya menyebutnya dengan istilah pipa siluman), sehingga tidak terlihat secara langsung (Dwicaksono et al. 2013).

Limbah langsung dibuang/dialirkan ke laut tanpa IPAL terlebih dahulu atau pipa *outfall*. Cara ini biasa diterapkan oleh pengolahan tradisional yang dilaksanakan di rumah-rumah yang berlokasi di pinggir pantai, ataupun di atas permukaan air laut (rumah panggung) (Setiyawan, 2010).

2. Sifat Limbah Cair pada Hasil Perikanan

Umumnya, limbah industri pengolahan perikanan mengandung cairan darah, lendir, potongan-potongan kecil daging ikan, sisik, kulit, isi perut, dan air pendingin dari kondensor atau paling tidak telah terkontaminasi oleh bahan-bahan tersebut (Jenny dan Rahayu, 1993).

Fitria (2008) menyatakan bahwa limbah industri pangan mengandung sejumlah besar karbohidrat, protein, lemak, garam-garam mineral, sisa-sisa bahan kimia yang digunakan dalam proses produksi pada saat memanfaatkan limbah industri perikanan tersebut. Lebih lanjut, Fitria (2008) menyatakan bahwa limbah ini memiliki karakteristik yang didominasi oleh kandungan darah, lendir, potongan bagian tubuh ikan/udang yang diolah, dengan mengandung protein, karbohidrat, dan lemak. Sementara itu, air sisa olahan yang terikut dalam air limbah juga mengandung garam, deterjen, dan klorin yang terikut pada waktu pencucian, di samping bahan-bahan padatan, seperti potongan bagian tubuh ikan/udang yang diolah. Limbah industri pengolahan hasil perikanan mempunyai sifat fisik, kimia, dan biologis yang berbeda.

a. Sifat Fisik

Sifat fisik yang penting dari limbah cair adalah kandungan zat padat, kejernihan, bau, warna, dan suhu. Empat sifat pertama disebabkan oleh tiga penyebab utama, yaitu zat yang terlarut, zat yang tercampur, dan zat yang mengendap. Dengan mengetahui besarnya kecilnya partikel yang terkandung dalam air limbah, pengolahan limbah tersebut menjadi mudah, terutama dalam penyaringan dan pengendapannya. Semakin kecil ukuran partikel dalam air limbah tersebut, semakin sulit penyaringan dan pengendapannya, dan semakin tinggi biaya yang diperlukan. Zat padat yang mengendap adalah zat yang akan mengendap pada kondisi diam selama kurang lebih satu jam akibat gaya beratnya sendiri (Sugiharto, 1987).

b. Sifat Kimia

Kandungan kimia dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara, baik karena aktivitas kimiawi, maupun sifat asli bahannya yang beracun/mengandung racun. Menurut (Dewantoro, 2003), bahan kimia penting yang terlarut dalam air limbah dapat digolongkan sebagai berikut.

1) Bahan Organik

Bahan organik biasanya disusun dari komponen karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O₂) bersama-sama dengan nitrogen (N). Seringkali ditemukan juga adanya fosfor (P), belerang (S), dan besi (Fe) (Sugiharto, 1987). Sementara itu, menurut (Jenny dan Rahayu, 1993), dalam bahan organik yang terkandung di dalam air limbah biasanya mengandung protein sebesar 40–60%, karbohidrat sebanyak 25–50%, dan lemak/minyak sebesar 10%.

2) Protein

Protein merupakan kandungan utama dalam produk perikanan yang diinginkan manusia ketika mengonsumsi ikan. Dengan demikian, air limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan hasil perikanan dipastikan mengandung protein. Karena struktur kimianya yang sangat kompleks dan tidak stabil, protein akan berubah menjadi senyawa lain dalam proses dekomposisi dalam air limbah. Protein merupakan sumber utama penyebab bau pada air limbah industri perikanan karena adanya proses pembusukan dan penguraian dalam air limbah (Fauziah, 2012).

3) Karbohidrat

Keberadaan karbohidrat dalam limbah cair dari industri hasil perikanan sering kali tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh kandungan karbohidrat yang sangat rendah di dalam ikan/udang dan produk lainnya. Karbohidrat dalam air limbah biasanya berasal dari sisa bahan tambahan yang digunakan dalam proses produksi, seperti tepung tapioka, terigu, dan bahan lain yang mengandung karbohidrat (Nugroho, 2012).

4) Lemak

Lemak merupakan kandungan penting dalam daging ikan setelah protein. Lemak merupakan sumber energi bagi ikan dan membentuk rasa gurih pada ikan ketika dimasak, terutama ketika digoreng atau dibakar. Lemak masuk ke dalam air limbah melalui cairan tubuh, air cucian dari potongan tubuh, dan darah ikan yang terlarut dalam air limbah. Lemak tergolong bahan organik yang stabil dan mudah terurai. Oleh karena itu, lemak harus cepat ditangani/diolah sebelum dibuang ke air limbah. Lemak yang terdapat dalam air limbah akan menimbulkan masalah. Lemak akan menempel di saluran dan bak limbah yang membentuk lapisan tipis, seperti selaput. Kadar lemak dalam air limbah yang dapat ditoleransi sebesar 16–20 ppm (Sugiharto, 1987).

5) Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) umumnya menjadi salah satu parameter kimia anorganik dalam baku mutu limbah cair dari industri perikanan (Dewantoro, 2003). Namun, karena sifat proses produksinya tidak membutuhkan senyawa kimia dengan pH yang ekstrim, biasanya limbah cair industri perikanan mempunyai pH yang cenderung netral (Dwicaksono et al, 2013).

6) Deterjen

Deterjen digunakan dalam proses pengolahan hasil perikanan sebagai bahan pencuci untuk tangan karyawan, pakaian kerja, peralatan kerja, ruangan, dan perabot kerja. Dengan demikian, deterjen merupakan salah satu senyawa yang dominan dalam air limbah industri pengolahan hasil perikanan (Jenny dan Rahayu, 1993).

7) Senyawa Klorin

Senyawa klorin merupakan senyawa kimia anorganik yang sangat akrab dengan proses produksi dalam industri pengolahan hasil perikanan. Senyawa ini dalam berbagai bentuknya (terutama kalsium klorida CaCl_2 dan kalsium hipoklorit CaHCl_2) digunakan sebagai

desinfektan berbagai komponen yang digunakan dalam proses produksi. Namun, secara normal, klorin sangat mudah beroksidasi dengan oksigen dari udara, sehingga biasanya dalam kondisi normal sangat sedikit yang tersisa dalam air buangan. Dengan beberapa komposisi yang ada pada limbah cair hasil industri pengolahan perikanan ini. Usaha mengurangi sebagian permasalahan dalam menangani limbah dapat cepat dilakukan, misalnya dengan proses fermentasi untuk dijadikan produk yang memiliki nilai ekonomi kembali, seperti: silase ikan, tepung ikan, pupuk organik cair, dan lain-lainnya (Nengsih, 2002).

Pemanfaatan Limbah Perikanan

Pemanfaatan limbah ini merupakan penerapan dari salah satu prinsip ekonomi biru (*blue economy*) yang saat ini sedang gencar dikembangkan, yaitu prinsip nirlimbah (*zero waste*) yang menekankan sistem *siklikal* dalam proses produksi, sehingga tercipta produksi bersih. Artinya, limbah dari sebuah proses produksi akan menjadi bahan baku atau sumber energi bagi produk berikutnya.

Bentuk-bentuk produk hasil pemanfaatan limbah dari proses pengolahan hasil perikanan cukup beragam, antara lain:

1. Daging lumat (*minced fish*), dihasilkan dari sisa-sisa daging ikan yang menempel pada tulang dan masih bisa dikumpulkan, dapat digunakan untuk bahan dasar pembuatan produk-produk gel ikan, seperti bakso, sosis, *nugget*, siomay, dan lain-lain.
2. Minyak ikan, dapat diproduksi dari sisa-sisa daging dan kulit ikan. Pengolahannya dengan cara ekstraksi, dengan kombinasi pemasakan, pengeringan, dan pengepresan untuk memisahkan minyak dan tepung ikan. Manfaat minyak ikan untuk kesehatan dapat mencegah beberapa penyakit, antara lain: jantung koroner, kelebihan kolesterol darah, kanker, kerontokan rambut, dan untuk kekebalan tubuh.
3. Tepung dan silase ikan, dari limbah daging, tulang, insang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan pupuk dan pakan ternak/ikan. Tepung ikan merupakan produk berkadar air rendah yang kaya akan protein dan mineral, yang diperoleh dari beberapa

proses pengolahan antara lain pemasakan, pengepresan, pengeringan dan penggilingan. Sementara itu, silase ikan adalah sisa-sisa ikan yang diawetkan dalam kondisi asam dengan penambahan asam (silase kimia) atau dengan fermentasi/kemampuan bakteri asam laktat (silase biologis). Silase ikan yang dihasilkan berbentuk cair karena protein ikan dan jaringan struktur lainnya didegradasi menjadi unit larutan yang lebih kecil oleh enzim yang terdapat pada ikan.

4. Kolagen dan gelatin. Kolagen merupakan protein penting yang menghubungkan sel dengan sel yang lain. Kulit dan sisik ikan merupakan salah satu sumber utama kolagen. Pembuatan kolagen dapat dilakukan melalui ekstraksi, baik secara konvensional, maupun secara enzimatik. Kegunaan kolagen diantaranya untuk suplemen makanan, kosmetik, dan aditif pada makanan dan minuman ringan, sedangkan gelatin adalah derivat protein yang berasal dari serat kolagen pada kulit, tulang, dan tulang rawan, yang diperoleh melalui proses hidrolisis serat kolagen. Kolagen berguna untuk pengolahan pangan (penstabil, pembentuk gel, pengental, pengemulsi, perekat, *edible coating*, pengikat air), dan non-pangan (kosmetik, medis/farmasi, kertas, dan lain-lain). Limbah yang berupa cangkang udang. Foto: shrimmeal.worldpress.com
5. *Chitin* dan *chitosan*, terdapat dalam kulit luar hewan golongan *Crustaceae*, seperti udang dan kepiting, merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembekuan dan pengalengan udang/kepiting, dan pengolahan kerupuk udang. Untuk memperoleh *chitin* dari cangkang udang, perlu melibatkan proses-proses pemisahan protein (deproteinasi) dan pemisahan mineral (demineralisasi), sedangkan untuk mendapatkan *chitosan* dilanjutkan dengan proses deasetilasi. *Chitosan* dapat dimanfaatkan pada berbagai bidang biokimia, obat-obatan atau farmakologi, pangan dan gizi, pertanian, mikrobiologi, penanganan air limbah, industri kertas, tekstil membran atau film, kosmetik, dan lain sebagainya.

6. Pupuk organik/pupuk cair, pupuk organik lengkap yang terbuat dari bahan baku ikan memiliki kualitas sebagai pupuk yang lebih baik dibandingkan dengan pupuk organik (kompos, pupuk kandang, ataupun pupuk hijau). Untuk pembuatan pupuk cair dilakukan dengan proses hidrolisis dengan bantuan enzim tertentu. Seluruh bagian tubuh ikan ataupun limbah cair pengolahan ikan dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pupuk ini.
7. Aneka kerajinan dapat dibuat dari limbah yang berupa sisik dan kulit ikan, serta cangkang kekerangan. Kerajinan dari limbah cangkang kerang. Foto: antikalightings.com Dan mungkin masih banyak lagi produk yang dapat dihasilkan dari limbah pengolahan hasil perikanan.

Residu Pertanian

Residu pertanian merupakan residu yang diproduksi di ladang atau kebun saat panen atau aktivitas-aktivitas lain. Sebagai sumber daya energi, residu pertanian yang ada termasuk residu yang berasal dari bijian, tanaman rizom, dan tebu. Selain itu, ada sejumlah varietas residu sayuran yang dapat diproduksi, tetapi tidak dipertimbangkan sebagai sumber energi karena sulit untuk mengumpulkan residu tersebut secara efisien dalam skala besar.

Jenis dan Ciri Limbah Pertanian

(a) Padi dan Gandum

Residu padi dan gandum kebanyakan berasal dari sekam dan jerami. Pada umumnya, sekam mengacu pada sesuatu yang diperoleh dari padi. Hal ini karena sekam gandum tidak akan gugur pada saat dipanen dan dapat diproses tanpa harus dilepas terlebih dahulu. Sekam padi hampir seragam dari segi bentuk dan ukuran, serta sesuai untuk pemrosesan dan transportasi. Akan tetapi, sekam padi memiliki struktur yang keras dan kurang cocok untuk fermentasi karena kadar lignin dan silika (SiO_2) yang tinggi. Kebanyakan sekam padi digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran. Namun, karena kadar silika yang ada di

dalam sekam sejumlah 10–20 wt%, sekam dapat menyebabkan kerusakan pada insinerator saat pembakaran. Di sisi lain, jerami juga mengandung lignin, silika, dan sebagainya. Namun, dibandingkan dengan sekam, jerami dapat difermentasi dan kini digunakan sebagai sumber energi untuk pembakaran dan juga fermentasi.

(b) Jagung dan Tanaman Rizom

Residu jagung tidak hanya dihasilkan sebagai residu di ladang (daun, batang, dan sebagainya), tetapi juga sebagai tongkol jagung yang dihasilkan setelah pemrosesan. Biji jagung memiliki kadar pati yang tinggi dan digunakan untuk produksi etanol, melalui fermentasi di Amerika Serikat. Tanaman rizom meninggalkan dedaunan dan batang sebagai residu.

(c) Tebu

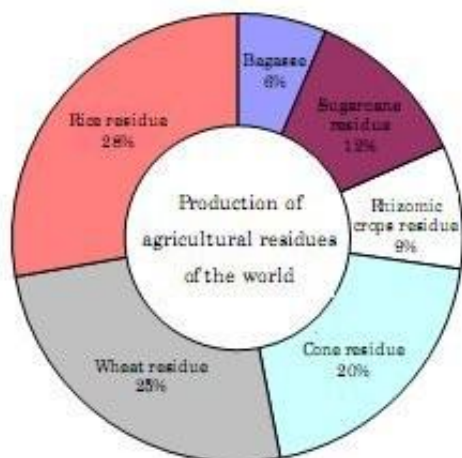
Semua bagian tebu, selain batang, bagian atasnya hanya memiliki kadar gula rendah. Dedaunan dan akar akan dilepas sebelum batangnya dipindahkan ke pabrik gula, dan bagian ini digunakan sebagai residu.

Volume produksi

Meskipun mode dan volume produksi residu pertanian mungkin berbeda dari segi wilayah produksi, tingkat produksi residu relatif terhadap hasil tanaman dilaporkan sebanyak 140 % untuk padi, 130 % untuk gandum, 100 % untuk jagung dan 40 % untuk tanaman rizom (Hall et al., 1993). Dalam literatur ini, tingkat produksi residu tebu dari batang, daun, dan bagian atas yang diproduksi di ladang saat panen dilaporkan sebesar 28 % relatif terhadap hasil tanaman.

Pemerkiraan produksi tahunan residu pertanian dilakukan dengan menentukan produksi setiap jenis tanaman berdasarkan statistik FAO (2000) dan dengan menggunakan nilai produksi residu, seperti yang disajikan dalam Gambar 2.11.1. Sekitar tiga miliar ton total residu pertanian diproduksi di seluruh dunia. Residu padi merupakan residu terbesar yang mencapai 836 juta ton. Residu tanaman rizom berjumlah sebanyak 272 juta ton, sedangkan residu gandum dan

jagung, yang tidak diproduksi di Jepang, masing-masing berjumlah sebesar 754 dan 591 juta ton.



Gambar 11. Produksi Residu Serealia dan Ampas Tebu

Tabel 2. Potensi Bioenergi dari Residu Pertanian

	Potensi Bioenergi (PJ/y)
Residu padi	3,407
Residu gandum	3,299
Residu jagung	2,614
Residu tanaman rizom	407
Residu tebu	1,550
Total	11,277

Karakteristik dan Signifikansi Lingkungan

Karbon berbasis kayu dari hutan lestari, yang jumlah panennya kurang dari jumlah pertumbuhan, beredar di hutan, komunitas manusia dan atmosfer. Kayu dari hutan lestari disebut “netral karbon” karena tidak akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi karbondioksida di atmosfer. Konsumsi bahan bakar fosil untuk produksi kehutanan lebih kecil jika dibandingkan dengan pertanian atau perikanan, dan lebih kurang energi digunakan untuk menghasilkan produk kayu, seperti kayu gergaji atau bangunan ber kayu untuk menghasilkan produk baja dan

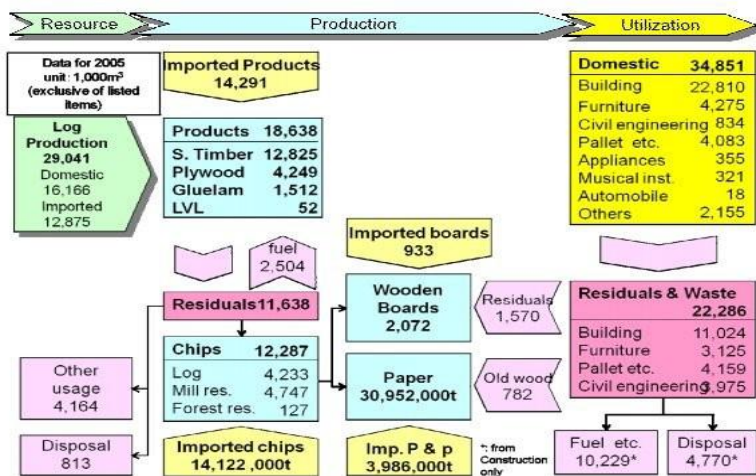
sebagainya. Promosi pemanfaatan kayu dapat memicu pengurangan karbondioksida. Akan tetapi, hanya 30 % karbon biomassa kayu dapat disimpan dalam produk akhir kayu, seperti bangunan ber kayu. Oleh karena itu, penting untuk mencapai keseimbangan antara penghematan sumber daya melalui daur ulang bahan dan penghematan bahan bakar fosil dengan menggunakan residu kayu sebagai energi.

Densitas kayu dan komposit kayu beragam antara 0,2 hingga 1,0 g/cm³, dan bobot kayu berdensitas rendah beragam hingga mencapai tiga kali lipat, bergantung pada kondisi kadar airnya. Oleh karena itu, dalam banyak hal, statistik kayu mencantumkan volume sebagai unit. Kebanyakan densitas kayu yang digunakan di Jepang diperkirakan sebesar 0,42 g/cm³. Kadar karbon sebesar 0,5. Akan tetapi, kadangkala nilai kadar karbon sebesar 0,45 digunakan untuk komposit kayu, seperti papan partikel atau papan serabut kepadatan sederhana yang mengandung 10 %(b/b) rasio perekat sebagai bagian turunan kayu.

Residu dari Industri Kayu

Jenis dan kadar air residu kayu dari pabrik pengolahan kayu, seperti kilang gergaji dan pabrik kayu lapis, berbeda satu sama lain. Residu yang lebih besar akan dijadikan kepingan kayu dan dijual untuk bubur kayu atau komposit kayu, seperti kepingan kayu dari kilang gergaji atau inti kayu yang telah dikupas dari pabrik kayu lapis. Residu yang lebih kecil, seperti kulit kayu, serbuk gergaji, serbuk kayu atau residu *venir* digunakan sebagai alas hewan ternak di peternakan terdekat, sebagai bahan bakar *boiler* di pabrik, atau sebagai kompos. Hanya sejumlah 7% dari anggaran 12 juta m³, residu kayu yang diproduksi pada tahun 2005 dibakar tanpa penggunaan atau dibuang.

Di pabrik skala besar, produksi dengan emisi nol dapat tercapai dengan mendaur ulang residu untuk pembangkit listrik atau uap sebagai pengering kayu. Akan tetapi, untuk kilang gergaji tanpa fasilitas pengeringan atau *blender*, sistem pemanfaatan residu, seperti sistem pengumpulan berskala kecil harus diadakan. Belakangan ini, produksi pelet kayu dari kulit kayu atau serbuk gergaji semakin meningkat karena mudahnya dioperasikan dan kerapatan energinya lebih tinggi.



Gambar 12. Aliran Kayu di Jepang.

Limbah Kayu

Pada tahun 2005, diperkirakan sejumlah 22 juta m³ residu diproduksi dari sektor konstruksi, perabotan, transportasi, dan teknik sipil. Residu dari teknik sipil termasuk pohon-pohon yang ditebang selama pekerjaan konstruksi. Hanya sebesar 10 % residu didaur ulang sebagai bahan, 1,6 juta m³ untuk papan partikel, dan lain-lain, serta 0,8 juta m³ untuk pulp. “Hukum daur ulang konstruksi” mengatur bahwa limbah kayu dari sektor konstruksi dan teknik sipil harus dipisahkan dan didaur ulang. Pada tahun 2005, diperkirakan 62,8 % dari 15 juta m³ residu yang diproduksi telah didaur ulang dalam berbagai cara terutama untuk pembangkit energi, kecuali untuk pengurangan volume melalui pembakaran.

Pada periode komitmen pertama Protokol Kyoto, kenaikan harga minyak telah memberikan insentif tambahan pada banyak industri seperti pembangkit listrik, pabrik besi, pabrik semen dan pabrik kertas untuk menggunakan sisa kayu untuk produksi

energi. Perusahaan daur ulang juga mendapatkan manfaat karena mereka dapat mengumpulkan biaya pembuangan yang dikenakan untuk pengumpulan residu dari pemanfaatan kayu. Melalui usaha-usaha di atas, tujuan “hukum daur ulang konstruksi” dapat diakses dan ada kemungkinan pasokan residu kayu tidak mencukupi untuk kebutuhan berikut.

Daur ulang bahan untuk sumber daya konservasi haruslah diutamakan. Akan tetapi, residu dengan bahan perekat atau cat tidak dapat digunakan untuk kepingan kayu dan hampir semua residu papan kayu tidak dapat didaur ulang sebagai bahan. Residu kayu kecil atau komposit yang membutuhkan biaya tinggi untuk didaur ulang sebagai bahan harus dihancurkan dan digunakan sebagai kepingan kayu. Oleh karena itu, dengan cara ini, lebih dari separuh residu kayu dapat didaur ulang sebagai energi tanpa pemborosan dan hal ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil lebih dari satu juta ton C.

Pemerintah Jepang akan memproduksi 2 juta kL bioetanol dari limbah kayu pada tahun 2020. Karena lignin mengelilingi selulosa dan lain-lain di dalam dinding sel kayu, proses *sakarifikasi* dan fermentasi akan sulit tanpa proses pra-perlakuan. Ada pendapat bahwa mobil lebih baik menggunakan listrik dibandingkan bahan bakar cair pada masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abun. 2003. *Pengaruh Dosis Inokulum Aspergillus niger dan Lama Fermentasi Terhadap Perubahan Kandungan Protein dan Serat Kasar Ampas Umbi Garut*. Bandung: Fakultas Peternakan Universitas Padjajaran.
- Afrianto, E. dan E Liviawaty. 2005. *Pakan Ikan dan Perkembangannya*. Yogyakarta: Kanisius.
- Anonim. 2015. *Limbah Pertanian dan Penanggulangannya*. ([http://hanya sipemimpi.blogspot.com/2013/11/v-behaviorurldefaultvmlo_13.html](http://hanyasipemimpi.blogspot.com/2013/11/v-behaviorurldefaultvmlo_13.html).) diakses pada tanggal ... jam ...
- Anonim. 2016. *Penolahan limbah*. (<https://pengelolaanlimbah.wordpress.com/category/a-pengertian-limbah/>) diakses pada tanggal ... jam ...
- Anonim. 2016. *Bioteknologi Limbah Pertanian untuk Ternak*. (<http://chyrun.com/bioteknologi-limbah-pertanian-untuk-ternak/>) diakses pada tanggal ... jam ...
- Anonim. 2005. *Laporan Teknologi Pembuatan Sepatu dan Barang Kulit Ikan (Kakap dan Kerapu)*. Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastic. Yogyakarta.
- Ardiyanto, Taufik. 2011. *Makalah Pencemaran Air Akibat Limbah Tambak*. (<http://taufik-ardiyanto.blogspot.co.id/2011/07/makalah-pencemaran-air-akibat-limbah.html>) diakses pada tanggal 6 Maret 2016 jam ...
- Asifa, M dan T. Muneer. 2007. *Energi Supply, Its Demand and Security Issues for Developed and Emerging Economies, Renewable and Sustainable Energi Reviews*. Kota Terbit: Nama Penerbit. Edisi 11 Hlm. 1388-1413.
- Basmal, J. 2008. *Prospek Pemanfaatan Rumput Laut sebagai Bahan Pupuk Organik Cair*. Dalam *Squalen* Buletin Pascapanen & Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. Kota Terbit: Nama Penerbit. No 12.Vol V.

- Carpentieri, M dkk. 2005. *Life Cycle Assessment (LCA) of An Integrated Biomass Gasification Combined Cycle (IBGCC) with CO₂ Removal, Energi Conservation and Management*. Edisi 46. hlm. 1790-1808.
- Ditjen Perikanan Budi Daya (Tekno Ikan). 2007. *"Pemanfaatan Limbah Ikan Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik"*. Kota Terbit: Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Dwicaksono et al. 2013. "Pengaruh Penambahan Effective Microorganisme pada Limbah Cair Industri Perikanan terhadap Kualitas Pupuk Cair Organik". Dalam *Jurnal Sumber Daya Alam & Lingkungan*. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Vol 1.
- Firmansyah, R dkk. 2009. *Mudah dan Aktif Belajar Biologi 1*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistical Database, FAO Statistical Database, (<http://www.fao.org/>) diakses pada ...
- Hall, D. O. dkk. 1993. "Biomass for Energi: Supply Prospects", In T. B. Johansson (eds) *Renewable Energi*. Washington: Island Press. pp. 594.
- Heriyanto. 2006. Pengaruh Rasio COD/TKN pada Proses Denitrifikasi Limbah Cair Industri Perikanan dengan Lumpur Aktif. Skripsi Sarjana pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor: Tidak Diterbitkan.
- Kistinnah I dan E. S. Lestari. 2006. *Biologi Makhluk Hidup dan Lingkungannya*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Ministry of Land. 2006. *Infrastructure and Transport Japan: Investigation of Construction by Products 2005*. Kota Terbit: Nama Penerbit.
- Mayu, Takagi dkk. 2007. *Trends in The Carbon Transferred from Forests to The Populated Area of Japan-Estimates from Timber Supply and Demand Statistics Wood Industry*. Kota Terbit: Nama Penerbit. Edisi 62(8). hlm. 354-357.

- Tonosaki, Mario dkk. 2005. "Wood Utilization for Japanese Forestry" Dalam *Journal of The Japan Institute of Energi*. Edisi 84. hlm. 973-979.
- Purwanti, M. D . 2010. Penigkatan Nilai Ekonomi Limbah Kulit Ikan Pari Tersamak. Skripsi pada Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta: Tidak Diterbitkan.
- Ramadhan, Zulfikar. dkk. 2014. "Makalah Kunjungan Praktikum Manajemen Limbah Industri Perikanan Pengolahan Limbah Cair dan Padat di Industri Pengolahan Ikan *Fresh Fish*". (<https://www.academia.edu>) diakses pada tanggal 6 Maret 2016.
- Saxena, R. C. dkk. 2007. *Biomass-Based Energi Fuel Through Biochemical Routes: A Review, Renewable and Sustainable Energi Reviews (In press)*. Kota Terbit: Nama Penerbit.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Sulistiyorini, A. 2009. *Biologi 1*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- The Japan Institute of Energi. 2006. *Report on The Investigation and Technological Exchange Projects Concerning Sustainable Agriculture and Related Environmental Issues, Entrusted by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan*. Kota Terbit: Nama Penerbit.
- Yeryces, Hevea. 2012. *Limbah Perikanan*. (<http://covervea.blogspot.com/2012/07/limbah-perikanan.html>) diakses pada tanggal 6 Maret 2016.

